

## Technische Daten EMCOMAT FB-450 L

|  |          |                 |
|--|----------|-----------------|
| <b>Arbeitsbereich</b>                                    |          |                 |
| Waagrecht Längsvorschub des Tisches X                    | [mm]     | 450             |
| Senkrechter Tischvorschub Z                              | [mm]     | 400             |
| Waagrecht Quervorschub des Spindelstock Y                | [mm]     | 350             |
| <b>Frästische</b>  |          |                 |
| <i>Vertikaltisch Aufspannfläche (LängexBreite)</i>       | [mm]     | 400x270         |
| Breite der T-Nuten                                       | [mm]     | 14 (H8)         |
| Abstand der T-Nuten                                      | [mm]     | 50              |
| Anzahl der T-Nuten                                       | [Stk.]   | 5               |
| Zul. Werkstückgewicht                                    | [kg]     | 60              |
| <i>Starrer Winkeltisch Aufspannfläche (LängexBreite)</i> | [mm]     | 800x400         |
| Breite der T-Nuten                                       | [mm]     | 14 (H8)         |
| Abstand der T-Nuten                                      | [mm]     | 50              |
| Anzahl der T-Nuten                                       | [Stk.]   | 8               |
| Zul. Werkstückgewicht                                    | [kg]     | 60              |
| <b>Waagrechte Frässpindel</b>                            |          | <b>DIN69871</b> |
| Werkzeugaufnahme   | [SK]     | 40              |
| Mechanische Drehzahlstufen                               |          | stufenlos       |
| Drehzahlbereich  | [U/min]  | 10-5000         |
| Abstand Horizontalspindel zu Tischoberfläche             | [mm]     | 260-620         |
| <b>Vertikale Frässpindel (Vertikalfräskopf)</b>          |          | <b>DIN69871</b> |
| Werkzeugaufnahme   | [SK]     | 40              |
| Pinolenhub   | [mm]     | 80              |
| Schwenkbarer Vertikalfräskopf                            | [Grad]   | ±90             |
| Mechanische Drehzahlstufen                               |          | stufenlos       |
| Drehzahlbereich  | [U/min]  | 10-5000         |
| Abstand Spindelnase zu Tischoberfläche                   | [mm]     | 60-415          |
| <b>Hauptantrieb AC-Drehstrommotor</b>                    |          |                 |
| Leistung bei 100/40% ED                                  | [kW]     | 7/10            |
| Motor Nenndrehzahl                                       | [U/min]  | 1500            |
| Max. Nenndrehmoment an der Hauptspindel                  | [Nm]     | 100             |
| <b>Vorschub</b>  |          |                 |
| Leistung Vorschubmotor 100% ED                           | [kW]     | 1               |
| Anzahl mechanische Vorschübe                             |          | stufenlos       |
| Vorschubbereich X, Y und Z-Achse                         | [mm/min] | 10-5000         |
| Eilgang in X, Y und Z-Achse                              | [mm/min] | 5000            |
| Vorschubkraft X, Y / Z                                   | [kN]     | 10/15           |
| Kugelumlaufspindel Z-Achse Steigung / Ø                  | [mm]     | 10/ Ø 32 rechts |
| Kugelumlaufspindel X-Achse Steigung / Ø                  | [mm]     | 5/ Ø 25 rechts  |
| Kugelumlaufspindel Y-Achse Steigung / Ø                  | [mm]     | 5/ Ø 25 rechts  |

Technische Änderungen vorbehalten!

Bei Angaben unterschiedlich zur techn. Spezifikation, gelten die dort angegebenen Werte!

| EMCO GmbH           |        | Anforderungsliste<br>für Antriebskupplung und - Lagerung  | Blatt: 1    Seite:1 |
|---------------------|--------|---|---------------------|
| Änderungs-<br>datum | F<br>W | Anforderungen   | Verantwortung       |
|                     |        | <p>1. Geometrie:</p> <p>F Die Abmessungen Kupplung und Lagerung müssen im Fräskopfgehäuse platz finden, ohne den Gussrohling des Fräskopfes zu verändern.</p> <p>W Die Fertigung des Fräskopfgehäuses darf nicht verändert werden.</p> <p>F Die SK40 Aufnahme muss hautspindelseitig bestehen bleiben.</p> <p>F Ein ausreichendes Axialspiel zwischen Kupplung und der fixen Kegelradwelle zum Entkuppeln muss gewährleistet sein.</p> <p>F Die Antriebskupplung nicht zu lang zu gestalten, um Kollisionen mit dem Pinolengehäuse zu verhindern.</p> <p>F Muss Schutz gegen Staub und Schmutz, sowie gegen Schmierstoffaustritt bieten.</p> <p>Kinematik:</p> <p>F Die Konstruktion muss für Rotation über <math>5000 \text{ min}^{-1}</math> ausgelegt sein.</p> <p>F Die Antriebskupplung und Kegelzahnradwelle müssen für das Übertragen des Moments geeignet sein.</p> <p>F Der Einschub muss axial gesichert und schlupffrei sein.</p> <p>Kräfte:</p> <p>F Die Konstruktion muss schwellender Belastung standhalten,</p> <p>F dauerfest und ausreichend steif sein,</p> <p>F keine bleibenden Verformungen aufweisen und</p> <p>F es dürfen keine Resonanzen im Betrieb auftreten.</p> <p>Energie:</p> <p>F Es dürfen keine Einbußen beim Wirkungsgrad z. B. durch Verschleiß, Reibung, usw. auftreten.</p> <p>Werkstoffe:</p> <p>F Die Verwendung von im Stahlbau üblicher Materialien beachten.</p> <p>Instandhaltung:</p> <p>W Lösung soll auch für bereits ausgelieferte Maschinen einsetzbar bzw. austauschbar sein.</p> <p>W Die Lösung muss störungsunanfällig und zuverlässig sein.</p> <p>Kosten:</p> <p>W Die Lösung soll möglichst kosteneffizient sein.</p> | Sendlhofer Gerhard  |
|                     |        | 1. Ausgabe 10.06.2010   |                     |

| EMCO GmbH           |        | Anforderungsliste<br>für Antriebskupplung und - Lagerung                                     | Blatt: 1    Seite:2 |
|---------------------|--------|--|---------------------|
| Änderungs-<br>datum | F<br>W | Anforderungen  | Verantwortung       |
| 12.07.2010          | W      | Ergonomie:<br>Der Winkelfräskopf soll gut an- und abkuppelbar sein.                          | Gerhard Sendlhofer  |
|                     | F      | Geräuschentwicklung:<br>Ein Geräuschpegel von 80dB darf nicht überschritten werden.          |                     |
|                     | F      | Thermische Effekte:<br>Eine übermäßige Erwärmung darf nicht auftreten.                       |                     |
| 12.07.2010          | W      | Toleranzketten:<br>Verspannungen aufgrund von ungünstigen Toleranzketten sind zu verhindern. |                     |
|                     |        | 1. Ausgabe 10.06.2010  |                     |

# ISOFLEX® NBU 15

Spezialfett zur Wälzlagerschmierung  
für hohe Drehzahlen und Belastungen



## Beschreibung:

ISOFLEX NBU 15 ist ein Hochgeschwindigkeitsfett mit gutem Druckaufnahmevermögen.

Es besteht aus einer Kombination Esteröl/synthetisches Kohlenwasserstofföl/Mineralöl und einer Barium-Komplexseife, bietet einen guten Verschleiß- und Korrosionsschutz, ist wasser- und medienbeständig und oxidationsstabil.

## Gebinde:

50 g PE-Tube  
400 g Kartusche  
1 kg Dose  
25 kg Hobbock

## ISOFLEX NBU 15

- gutes Druckaufnahmevermögen
- für hohe Drehzahlen
- guter Verschleißschutz
- guter Korrosionsschutz
- alterungs- und oxidationsstabil
- gute Wasser- und Medienbeständigkeit

## Anwendungsgebiete:

Besonders verwendbar für hochtourige Wälz- und Gleitlager, z.B. Werkzeug- und Textilsplindellager, Gewindespindeln, Kugelsplindeln bei hoher Belastung, Fahrwerkslager, Langzeitfett für Lager an Seilbahnen und für die Präzisionstechnik. Darüber hinaus auch zur Zahnflankenbefettung an Präzisionsgetrieben (z.B. Kegelradgetriebe an Fräsmaschinen, elektromechanische Stellantriebe für Ventile) verwendbar.

## Anwendungshinweise:

Der Schmierstoff wird mittels Pinsel, Spatel, Fettpresse oder Fettpatrone aufgetragen. Aufgrund der vielen unterschiedlichen Zusammensetzungen innerhalb der Elastomer- und Kunststofffamilien ist es notwendig, vor Serienanwendungen die Elastomer- und Kunststoffverträglichkeit zu prüfen.

## Mindestlagerdauer:

Die Mindestlagerdauer beträgt bei sorgfältiger Lagerung in trockenen Räumen und geschlossenen Originalgebinden ca. 36 Monate.

## Produktkenndaten:

|   | ISOFLEX NBU 15     |
|---|--------------------|
| Farbe   | beige              |
| Struktur  | homogen, kurzzügig |
| Dichte bei 20 °C, g/cm <sup>3</sup>   | 0,99               |
| Gebrauchstemperaturbereich*, °C, ca.  | – 40 bis + 130     |
| Tropfpunkt, DIN ISO 2176, °C, ca.   | > 220              |
| Walkpenetration, DIN ISO 2137 (ASTM D 217); 0,1 mm  | 265 bis 295        |
| Korrosionsschutzverhalten (Emcor-Test) DIN 51 802, 1 Woche dest. Wasser, Korrosions-Grad                      | 0/1                |
| Grundölviskosität, DIN 51 562, T 01 bei 40 °C, mm <sup>2</sup> /s, ca.<br>bei 100 °C, mm <sup>2</sup> /s, ca. | 21<br>4,7          |
| Drehzahlkennwert (n x d <sub>m</sub> )**, mm x min <sup>-1</sup> , ca.  | 1 000 000          |
| Scheinbare Viskosität***, Viskositätsklasse   | M                  |

\* Gebrauchstemperaturen sind Richtwerte, die sich am Schmierstoffaufbau, dem vorgesehenen Einsatzzweck und der Anwendungstechnik orientieren. Schmierstoffe ändern je nach Art der mechanisch-dynamischen Beanspruchung Temperatur-, druck- und zeitabhängig ihre Konsistenz, scheinbare dynamische Viskosität bzw. Viskosität. Diese Veränderungen der Produktmerkmale können Einfluss auf die Funktion von Bauteilen nehmen.

\*\* Drehzahlkennwerte sind Richtwerte und abhängig vom Wälzlagerotyp, der Lagergröße sowie den Betriebsbedingungen der Einsatzstelle. Sie müssen daher im Einzelfall vom Anwender durch Erprobung bestätigt werden.

\*\*\* Klüber-Viskositätsklasse: EL = dyn. Extra leichtes Schmierfett; L = dyn. Leichtes Schmierfett; M = dyn. Mittleres Schmierfett; S = dyn. Schweres Schmierfett; ES = dyn. Extra schweres Schmierfett

# 1 Berechnung der Kegelradverbindung

## 1.1 Definition der Einheiten:

$$1\text{kN} = 1 \times 10^3 \text{ N}$$

### 1.1.1 Horizontales Kegelrad:

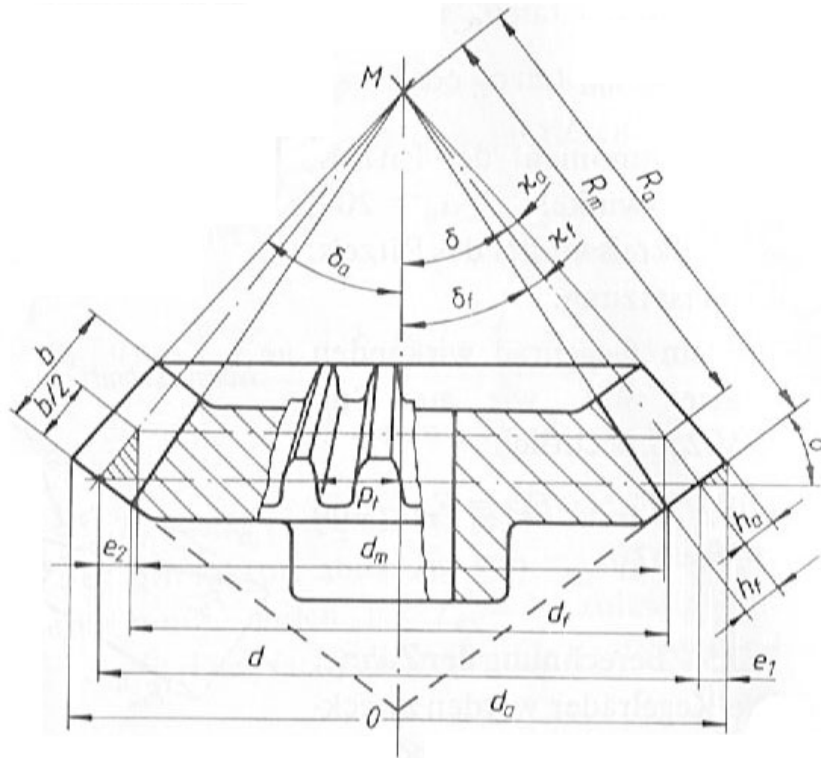


Abbildung 1: Abmessungen am Kegelzahnrad

Angaben lt. Fertigungszeichnung

Zähnezahl  $z_1 := 28$

Stirnmodul  $m_1 := 4\text{mm}$

Achsenwinkel  $\alpha_1 := 90^\circ$

Profilverschiebung  $x_{m1} := 0$

Teilkreis  $\varnothing d_{o1} := 112\text{mm}$

Zahnbreite  $b_1 := 19\text{mm}$

Spiralwinkel  $\delta_1 := 35^\circ$

Mittlerer Teilkreisdurchmesser horizontales Kegelrad

$$d_{m1} := d_{o1} - (b_1 \cdot \sin(\delta_1)) \quad d_{m1} = 101.102 \cdot \text{mm}$$

lt. Böge, 1999 S1455

### **1.1.2 Vertikales Kegelrad:**

Zähnezahl  $z_2 := 27$

Stirnmodul  $m_2 := 4 \text{mm}$

Achsenwinkel  $\alpha_2 := 90^\circ$

Profilverschiebung  $x_{m2} := 0$

Teilkreis  $\varnothing$   $d_{o2} := 108 \text{mm}$

Zahnbreite  $b_2 := 19 \text{mm}$

Spiralwinkel  $\delta_2 := \delta_1$

Mittlerer Teilkreisdurchmesser vertikales Kegelrad

$$d_{m2} := d_{o2} - (b_2 \cdot \sin(\delta_2)) \quad d_{m2} = 97.102 \cdot \text{mm} \quad \text{lt. Böge, 1999, S1455}$$

### **1.1.3 Übersetzung der Kegelradverbindung**

$$i_{\text{keg}} := \frac{z_2}{z_1} \quad i_{\text{keg}} = 0.964 \quad (1)$$

Die Kegelradverbindung ergibt eine Übersetzung von weniger als 1:1, da die Zähnezahl des vertikalen Kegelzahnrades um einen Zahn weniger beträgt (Verschleißoptimierung).

### **1.1.4 Rechnerische Grundgrößen**

$p_t := m_1 \cdot \pi$   $p_t = 12.566 \cdot \text{mm}$  Teilkreisteilung

$h_{a1} := m_1$   $h_{a1} = 4 \cdot \text{mm}$  Kopfhöhe

$h_{f1} := 1.2 \cdot m_1$   $h_{f1} = 4.8 \cdot \text{mm}$  Fußhöhe gemessen an der Außenfläche

Grenzzähnezahl

$$z_{gK} := 17 \cdot \cos(\delta_1) \quad z_{gK} = 13.926 \quad (2)$$

Beide Kegelräder sind über der erforderlichen Grenzzähnezahl und in dieser Hinsicht somit geeignet.

### 1.1.5 Übersetzung Motor zu Ritzel

$$d_{\text{mot}} := 93.5 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{Durchmesser} \\ \text{Motorriemenscheibe} \end{array}$$

$$d_{\text{hau}} := 115.5 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{Durchmesser} \\ \text{Hauptspindelriemenscheibe} \end{array}$$

$$i_{\text{Antr}} := \frac{d_{\text{hau}}}{d_{\text{mot}}} \quad i_{\text{Antr}} = 1.235 \quad \begin{array}{l} \text{Riemenübersetzung zwischen} \\ \text{Motor und Hauptspindel} \end{array}$$

$$n_{\text{sp}} := 5000 \cdot \text{min}^{-1} \quad \begin{array}{l} \text{Nennzahl vertikale} \\ \text{Hauptspindel} \end{array}$$

$$n_{\text{hau}} := \frac{n_{\text{sp}}}{i_{\text{keg}}} \quad n_{\text{hau}} = 5.185 \times 10^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad \begin{array}{l} \text{Drehzahl horizontale} \\ \text{Hauptspindel} \end{array}$$

$$n_{\text{mot}} := \frac{n_{\text{hau}}}{i_{\text{Antr}}} \quad n_{\text{mot}} = 4.198 \times 10^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad \begin{array}{l} \text{Drehzahl Antriebsmotor} \end{array}$$

### 1.1.6 Kraftverhältnisse:

$$T_1 := 100 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \begin{array}{l} \text{Nennmoment an} \\ \text{der Hauptspindel lt. Datenblatt} \end{array}$$

$$r_{\text{m1}} := \frac{d_{\text{m1}}}{2} \quad \begin{array}{l} \text{mittlerer Teilkreisradius} \\ \text{horizontales Kegelrad} \end{array}$$

$$\alpha_n := 20^\circ \quad \text{Winkel Kraftvektor}$$

$$F_{\text{tm}} := \frac{T_1}{r_{\text{m1}}} \quad F_{\text{tm}} = 1.978 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{a1}} := F_{\text{tm}} \cdot \tan(\alpha_n) \cdot \sin(\delta_1) \quad F_{\text{a1}} = 412.978 \text{ N}$$

$$F_{\text{r1}} := F_{\text{tm}} \cdot \tan(\alpha_n) \cdot \cos(\delta_1) \quad F_{\text{r1}} = 589.794 \text{ N}$$

$$F_{\text{a2}} := F_{\text{r1}} \quad F_{\text{a2}} = 589.794 \text{ N}$$

$$F_{\text{r2}} := F_{\text{a2}} \quad F_{\text{r2}} = 589.794 \text{ N}$$

laut Böge, 1999, Seite 1456

In Abbildung 2 werden die Zusammenhänge der ermittelten Kräfte anhand einer Skizze dargestellt.

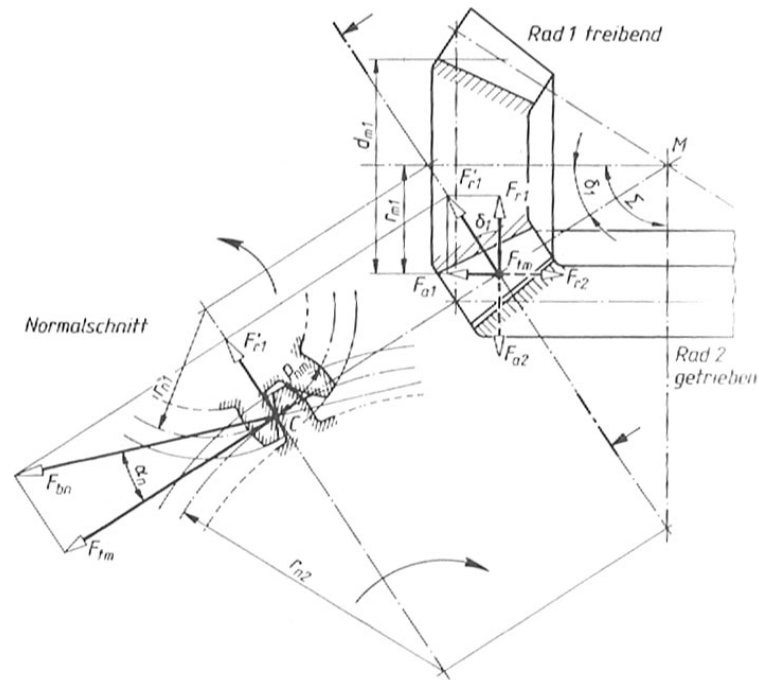


Abbildung 2: Kraftverhältnisse am Geradzahn-Kegelradgetriebe

## 1.2 Zahnfußbeanspruchung $\sigma_{F1}$ :

### 1.2.1 Horizontales Kegelrad:

$$F_{tm} = 1.978 \times 10^3 \text{ N}$$

$$Y_{F1} := 2.75 \quad \text{Zahnformfaktor} \quad \text{lt. Böge, 1999, Seite 1448, Bild XIV.8}$$

$$Y_{\varepsilon v1} := 1 \quad \text{Überdeckungsfaktor}$$

$$b_1 = 19 \cdot \text{mm} \quad \text{Zahnbreite}$$

$$m_{nm1} := \frac{d_{m1}}{z_1} \quad \text{Mittlerer Modul}$$

$$\sigma_{F1} := \frac{F_{tm}}{b_1 \cdot m_{nm1}} \cdot Y_{F1} \cdot Y_{\varepsilon v1} \quad \sigma_{F1} = 79.295 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (3)$$



In Abbildung 3 ist eine Skizze zum Ablesen des Zahnformfaktors abgebildet

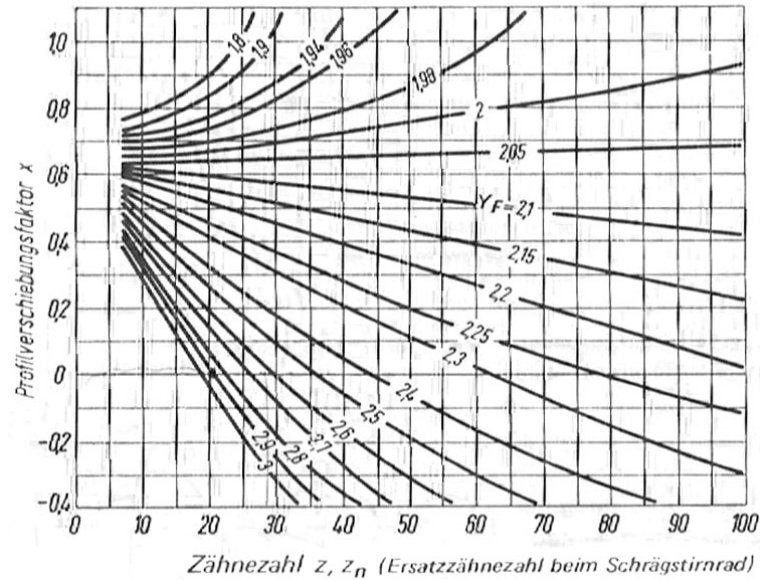


Abbildung 3: Ermittlung des Zahnformfaktors

### 1.2.2 Vertikales Kegelrad

$$r_{m2} := \frac{d_{m2}}{2} \quad \text{mittlerer Teilkreisradius vertikales Kegelrad}$$

$$F_{tm} = 1.978 \times 10^3 \text{ N}$$

$$Y_{F2} := 2.7 \quad \text{Zahnformfaktor}$$

lt. Böge, 1999, Seite 1448, Bild XIV.8

$$Y_{\epsilon v2} := 1 \quad \text{Überdeckungsfaktor}$$

$$b_2 = 19 \cdot \text{mm} \quad \text{Zahnradbreite}$$

$$m_{nm2} := \frac{d_{m2}}{z_2} \quad \text{Modul}$$

$$\sigma_{F2} := \frac{F_{tm}}{b_2 \cdot m_{nm2}} \cdot Y_{F2} \cdot Y_{\epsilon v2} \quad \sigma_{F2} = 78.166 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4)$$

### 1.2.3 Vergleichsspannung $\sigma_{FP}$

$$\begin{aligned}\sigma_{Flim} &:= 460 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} && \text{Dauerfestigkeitswert für Schwelllast} && \text{lt. Böge, 1999, S1446 (Tafel XIV.5)} \\ v_{\text{keg}} &:= 2 && \text{Abschwächungsfaktor} && \text{lt. Böge, 1999, S1448} \\ \sigma_{FPzul} &:= \frac{\sigma_{Flim}}{v_{\text{keg}}} && \sigma_{FPzul} = 230 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ \sigma_{F1} &= 79.295 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} && \sigma_{F2} = 78.166 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} && (5)\end{aligned}$$

Die Zahnfußbeanspruchung liegt bei beiden Kegelrädern im unbedenklichen Bereich.

### 1.3 Nachprüfen der Flankenbeanspruchung:

#### 1.3.1 Horizontales Kegelrad:

$$\begin{aligned}F_{tm} &= 1.978 \times 10^3 \text{ N} \\ d_{m1} &= 101.102 \cdot \text{mm} && \text{mittlerer Teilkreisdurchmesser} \\ &&& \text{horizontales Kegelrad} \\ i_{\text{keg}} &= 0.964 \\ \beta_b &:= 0 && \text{für Geradeverzahnung} \\ Z_{Hv} &:= 2 \cdot \sqrt{\frac{\cos(\beta_b)}{\sin(2 \cdot \delta_1)}} && Z_{Hv} = 2.063 && \text{Zonenfaktor} \\ &&& \text{lt. Böge, 1999, S1449 (XIV.38)} \\ Z_E &:= 189.8 \sqrt{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} && \text{Elastizitätsfaktor} \\ Z_{\epsilon v} &:= 1 && \text{Abschwächungsfaktor Zahnqualität} \\ &&& \text{lt. Böge, 1999, S1449} \\ \sigma_{H1} &:= \sqrt{\frac{F_{tm}}{b_1 \cdot d_{m1}} \cdot \frac{\sqrt{i_{\text{keg}}^2 + 1}}{i_{\text{keg}}} \cdot Z_{Hv} \cdot Z_E \cdot Z_{\epsilon v}} && \sigma_{H1} = 476.968 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} && (6)\end{aligned}$$

### 1.3.2 Vertikales Kegelrad:

$$F_{tm} = 1.978 \times 10^3 \text{ N}$$

$$d_{m2} = 97.102 \cdot \text{mm} \quad \begin{array}{l} \text{mittlerer Teilkreisdurchmesser} \\ \text{vertikales Kegelrad} \end{array}$$

$$i_{\text{keg}} = 0.964$$

$$Z_{Hv} = 2.063 \quad \begin{array}{l} \text{Zonenfaktor} \\ \text{lt. Böge, 1999, S1449 (XIV.38)} \end{array}$$

$$Z_E = 189.8 \cdot \sqrt{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \quad \text{Elastizitätsfaktor}$$

$$Z_{Ev} = 1 \quad \begin{array}{l} \text{Abschwächungsfaktor Zahnqualität} \\ \text{lt. Böge, 1999, S1449} \end{array}$$

$$\sigma_{H2} := \sqrt{\frac{F_{tm}}{b_2 \cdot d_{m2}} \cdot \frac{\sqrt{i_{\text{keg}}^2 + 1}}{i_{\text{keg}}}} \cdot Z_{Hv} \cdot Z_E \cdot Z_{Ev} \quad \sigma_{H2} = 486.693 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (7)$$

### 1.3.3 Vergleichsspannung $\sigma_{HP}$

$$\sigma_{Hlim} := 1630 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{lt. Böge, 1999, S1446 (Tafel XIV.5)}$$

$$v_2 := 1.5 \quad \text{lt. Böge, 1999 S1448}$$

$$\sigma_{HPzul} := \frac{\sigma_{Hlim}}{v_2} \quad \sigma_{HPzul} = 1086.667 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (8)$$

$$\sigma_{H1} = 476.968 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{H2} = 486.693 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Die Flankenbeanspruchung liegt bei beiden Kegelrädern im zulässigen Bereich.

## 2 Lagerberechnungen

### 2.1 Lagerbedingungen Originalkonstruktion

#### 2.1.1 Lagerkräfte horizontales Kegelrad (treibend)

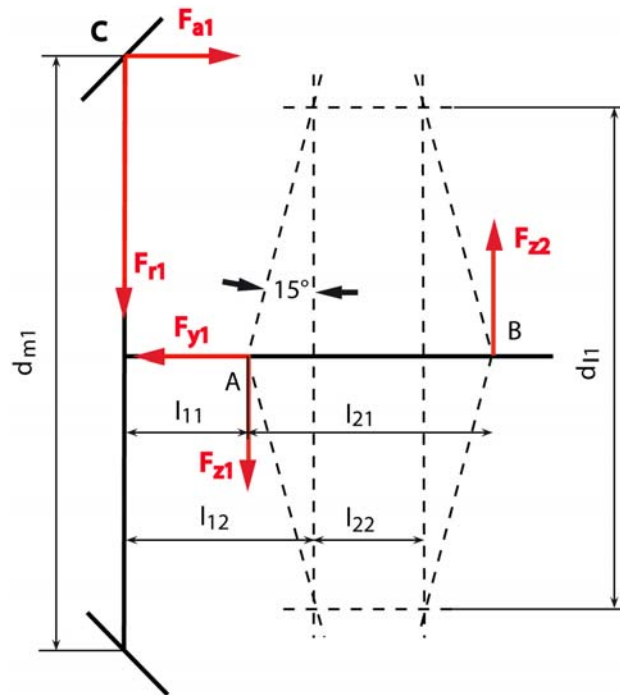


Abbildung 4: Lagerkräfte und -momente an der Standardkonstruktion

Durch Konstruktion vorgegeben:

|                              |  |
|------------------------------|--|
| $l_{12} := 31.5\text{mm}$    | Abstand Lager/Kegelzahnrad             |
| $l_{22} := 18\text{mm}$      | Abstand zwischen den Schrägkugellagern |
| $d_{11} := 82.5\text{mm}$    | Lagerdurchmesser                       |
| $r_{11} := \frac{d_{11}}{2}$ | Lagerradius                            |

Durch Schrägkugellager bedingte Rechenwerte:

|   |  |
|---|--|
| $l_{11} := l_{12} - r_{11} \cdot \tan(15^\circ)$          | rechnerischer Abstand Lager/Kegelzahnrad             |
| $l_{11} = 20.447\text{mm}$                                |  |
| $l_{21} := l_{12} + l_{22} + r_{11} \cdot \tan(15^\circ)$ | rechnerischer Abstand zwischen den Schrägkugellagern |
| $l_{21} = 60.553\text{mm}$                                |  |

Kräfte um Momentenpunkt A:

$$\Sigma M_A = 0 \quad F_{a1} \cdot r_{m1} = F_{r1} \cdot l_{11} + F_{z2} \cdot l_{21}$$

$$F_{z2} := \frac{F_{a1} \cdot r_{m1} - F_{r1} \cdot l_{11}}{l_{21}} \quad F_{z2} = 145.607 \text{ N}$$

$$\Sigma F_1 = 0 \quad F_{a1} = F_{y1}$$

$$F_{y1} := F_{a1} \quad F_{y1} = 412.978 \text{ N}$$

$$\Sigma F_2 = 0 \quad F_{z1} = F_{r1} + F_{z2}$$

$$F_{z1} := F_{r1} + F_{z2} \quad F_{z1} = 735.401 \text{ N}$$

### 2.1.2 Lebensdauerbechnung:

Statisch äquivalente Lagerbelastung:

Kräfteverhältnis  $F_{y1}/F_{z1}$

$$\frac{F_{y1}}{F_{z1}} = 0.562$$

Ist das Kräfteverhältnis  $F_{a1}/F_{r1}$  kleiner/gleich 1.09, so wird  $P_0 = F_{r1}$  angenommen.

$$P_0 := F_{z1} \quad P_0 = 0.735 \cdot \text{kN} \quad (12)$$

*Prospekt FAG Hochgenauigkeitslager Seite 184 und Böge Seite 1389 XIII.5*

Vorhandenes Lager der Firma FAG B7013-C-T-P4S

$$C_0 := 35.5 \cdot \text{kN} \quad \text{statische Tragzahl}$$

$$C_{\text{dyn}} := 40 \text{ kN} \quad \text{dynamische Tragzahl}$$

*Prospekt FAG Hochgenauigkeitslager Seite 50, 184*

$$f_s := \frac{C_0}{P_0} \quad \text{statische Kennzahl} \quad (13)$$

$$f_s = 48.273$$

Ein Rechenwert von  $f_n=2$  wird lt. Böge Seite 1389 bei ungünstigsten Bedingungen wie Schlägen und Stößen verwendet, also ist bei der Lagerung der Kegelradwelle eine mehr als ausreichende Sicherheit vorhanden.

### Dynamisch äquivalente Lagerbelastung

Zum Bestimmen der Faktoren  $X_1$  und  $Y_1$  muss nach Tafel XIII.2/Seite 1388 wie folgt vorgegangen werden

$$\frac{F_{y1}}{C_0} = 0.012$$

$$\frac{F_{y1}}{F_{z1}} = 0.562 \quad \frac{F_{y1}}{F_{z1}} > e_1$$

daraus leitet sich  $X_1$  und  $Y_1$  lt. Böge Seite 1388 Tafel XIII.2 wie folgt ab:

$$X_1 := 0.56 \quad Y_1 := 2$$

$$P_1 := X_1 \cdot F_{z1} + Y_1 \cdot F_{y1} \quad P_1 = 1.238 \times 10^3 \text{ N} \quad (14)$$

$$f_n := 0.188 \quad \text{lt. Böge Tafel XIII.7 gilt für eine Drehzahl } 5000 \text{ min}^{-1}:$$

$$f_t := 1 \quad \text{lt. Böge Tafel XIII.1 für Temperaturen unter } 100^\circ\text{C}$$

$$f_L := \frac{C_{\text{dyn}}}{P_1} \cdot f_n \cdot f_t \quad f_L = 6.075 \quad (15)$$

Das ergibt lt. Böge Seite 1398 Tafel XIII.7 eine Lebensdauer von mehr als 100000 Betriebsstunden. Diese ist für den vorliegenden Anwendungsfall mehr als ausreichend.

## 2 Schmiermittelanforderungen

### 2.1 Benötigte Schmiermittelviskosität

$D_L := 100\text{mm}$  großer Lagerdurchmesser

$d_L := 65\text{mm}$  kleiner Lagerdurchmesser

$$d_{mL} := \frac{D_L + d_L}{2} \quad d_{mL} = 82.5\text{mm} \quad \text{mittlerer Lagerdurchmesser}$$

$$\nu_1 := 7.5 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \quad \text{abgelesene Bezugviskosität}$$

Prospekt FAG Hochgenauigkeitslager Seite 176

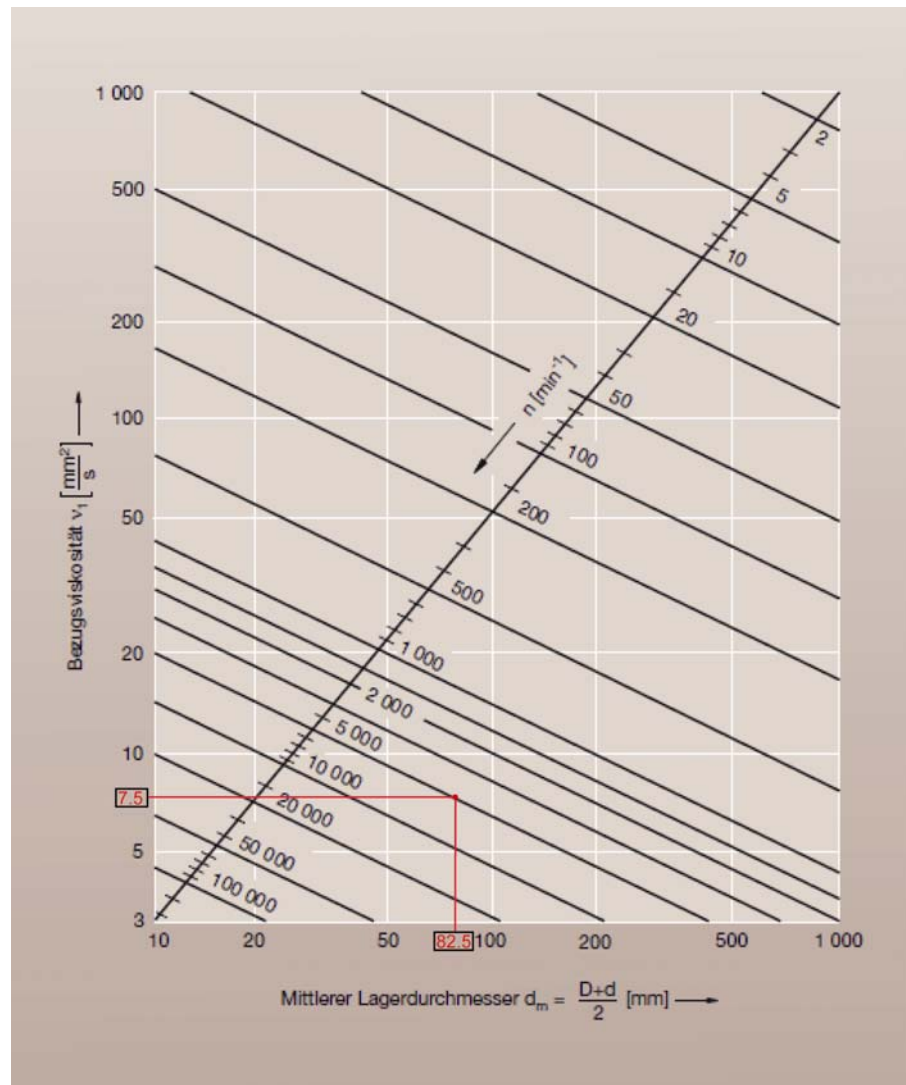


Abbildung 5: Diagramm Schmiermittelviskosität

## 2.2 Fettgebrauchsdauerberechnung:

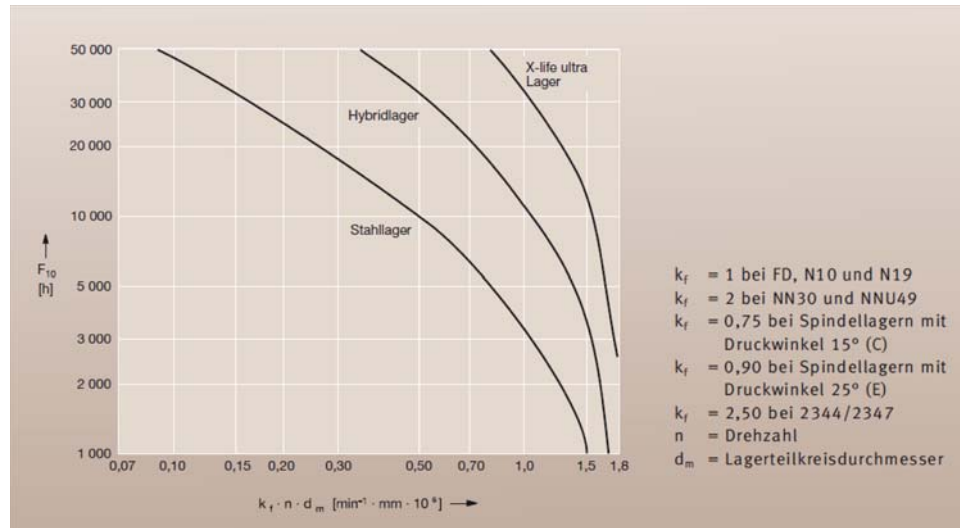


Abbildung 6: Diagramm Fettgebrauchsdauer

$k_f := 0.75$  Lagerabminderungsfaktor

$n_{hsp} := 5000 \text{ min}^{-1}$  Drehzahl

$d_m := 85 \text{ mm}$  Lagerteilkreisdurchmesser

$\lambda_{Fett} := k_f \cdot n_{hsp} \cdot d_m$  Lagereinsatzbedingung

$$\lambda_{Fett} = 0.319 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot 10^6 \quad (16)$$

Mit dem Schnittpunkt der Stahlagerkurve ergibt sich eine geschätzte Fettgebrauchsdauer  $F_{10}$  von 18000 Betriebsstunden, welche für diesen Anwendungsfall als ausreichend betrachtet werden kann.



### 3 Nachweis Welle- Nabeverbindungen

#### 3.1 Paßfederverbindung

##### 3.1.1 Zulässige Flächenpressung $p_{zul}$

$$R_e := 590 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Streckgrenze}$$

$$\nu_s := 1.5 \quad \text{Sicherheitsfaktor}$$

lt. Böge 1999 Seite 1375

$$p_{zul} := \frac{R_e}{\nu_s} \quad p_{zul} = 393.333 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (9)$$

##### 3.1.2 Vorhandene Flächenpressung $p_w$ an der Welle

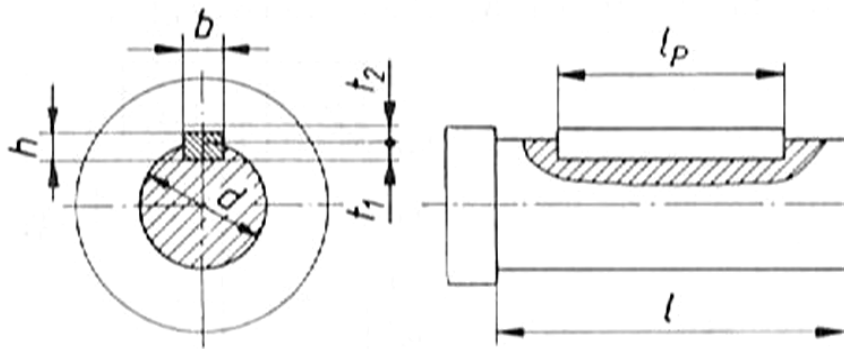


Abbildung 7: Passfederverhältnisse

$$T_1 = 100 \text{ N}\cdot\text{m} \quad \text{Nenndrehmoment an der Hauptspindel lt. Datenblatt}$$

$$d_w := 22.3 \text{ mm} \quad d_w \text{ Wellendurchmesser}$$

$$t_1 := 5.3 \text{ mm} \quad t_1 \text{ Wellentiefe}$$

$$l_n := 50 \text{ mm} \quad \text{Passfederlänge}$$

$$p_w := 2 \frac{T_1}{d_w \cdot l_p \cdot t_1} \quad p_w = 33.844 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (10)$$

$$p_{zul} = 393.333 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Die vorhandene Flächenpressung  $p_w$  an der Welle ist deutlich unter der maximal zulässigen Flächenpressung  $p_{zul}$ .

### 3.1.3 Vorhandene Flächenpressung $p_N$ an der Kegelradwelle (Nabe)

$$h_P := 9\text{mm}$$

Passfederhöhe

$$b_P := 9\text{mm}$$

Passfederbreite

$$l_t := l_P - b_P$$

wirksame Passfederlänge

$$p_N := 2 \cdot \frac{T_1}{d_w \cdot l_t \cdot (h_P - t_1)} \quad p_N = 59.121 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (11)$$

Die vorhandene Flächenpressung  $p_N$  an der Welle ist deutlich unter der maximal zulässigen Flächenpressung  $p_{zul}$ .

### 3.2 Lagerbedingungen Keilwellenantriebskupplung

#### 3.2.1 Lagerkräfte horizontales Kegelrad (treibend)

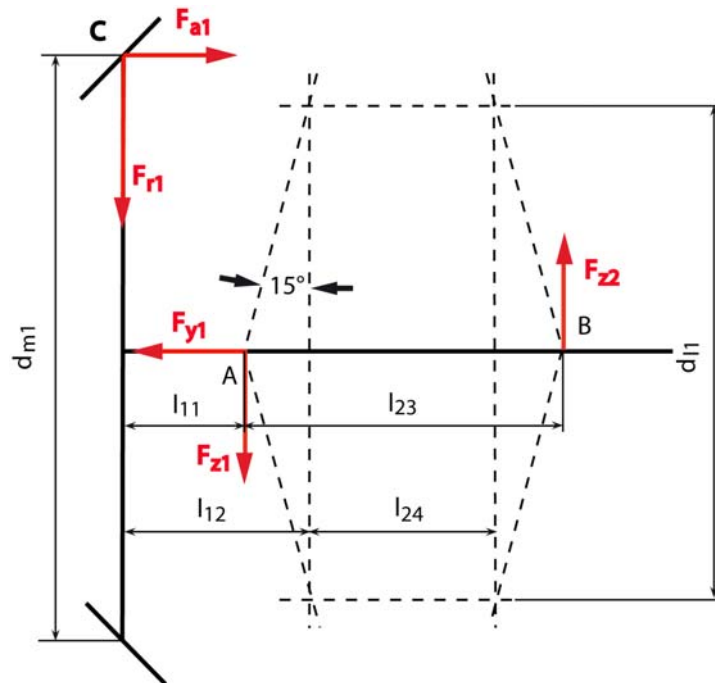


Abbildung 8: Lagerkräfte und -momente an der Keilwellenkonstruktion

Durch Konstruktion vorgegeben:

|                              |  |
|------------------------------|--|
| $l_{12} := 31.5\text{mm}$    | Abstand Lager/Kegezahnrad              |
| $l_{24} := 40\text{mm}$      | Abstand zwischen den Schrägkugellagern |
| $d_{11} := 82.5\text{mm}$    | Lagerdurchmesser                       |
| $r_{11} := \frac{d_{11}}{2}$ | Lagerradius                            |

Durch Schrägkugellager bedingte Rechenwerte:

|   |  |
|---|--|
| $l_{11} := l_{12} - r_{11} \cdot \tan(15^\circ)$          | rechnerischer Abstand Lager/Kegezahnrad              |
| $l_{11} = 20.447 \cdot \text{mm}$                         |  |
| $l_{23} := l_{12} + l_{24} + r_{11} \cdot \tan(15^\circ)$ | rechnerischer Abstand zwischen den Schrägkugellagern |
| $l_{23} = 82.553 \cdot \text{mm}$                         |  |
| $F_{a1} := 412.978 \text{ N}$                             | $F_{r1} := 589.794 \text{ N}$                        |
| $r_{m1} := 0.051 \text{ m}$                               |  |

Kräfte um Momentenpunkt A:

$$\Sigma M_A = 0 \quad F_{a1} \cdot r_{m1} = F_{r1} \cdot l_{11} + F_{z2} \cdot l_{23}$$

$$F_{z2} := \frac{F_{a1} \cdot r_{m1} - F_{r1} \cdot l_{11}}{l_{23}} \quad F_{z2} = 109.049 \text{ N}$$

$$\Sigma F_1 = 0 \quad F_{a1} = F_{y1}$$

$$F_{y1} := F_{a1} \quad F_{y1} = 412.978 \text{ N}$$

$$\Sigma F_2 = 0 \quad F_{z1} = F_{r1} + F_{z2}$$

$$F_{z1} := F_{r1} + F_{z2} \quad F_{z1} = 698.843 \text{ N}$$

### 2.2.2 Lebensdauerbechnung:

Statisch äquivalente Lagerbelastung:

Kräfteverhältnis  $F_{y1}/F_{z1}$

$$\frac{F_{y1}}{F_{z1}} = 0.591$$

Ist das Kräfteverhältnis  $F_{a1}/F_{r1}$  kleiner/gleich 1.09, so wird  $P_0 = F_{r1}$  angenommen.

$$P_0 := F_{z1} \quad P_0 = 0.699 \cdot \text{kN} \quad (12)$$

*Prospekt FAG Hochgenauigkeitslager Seite 184 und Böge Seite 1389 XIII.5*

Vorhandenes Lager der Firma FAG B7013-C-T-P4S

$$C_0 := 35.5 \cdot \text{kN} \quad \text{statische Tragzahl}$$

$$C_{\text{dyn}} := 40 \text{ kN} \quad \text{dynamische Tragzahl}$$

*Prospekt FAG Hochgenauigkeitslager Seite 50, 184*

$$f_s := \frac{C_0}{P_0} \quad \text{statische Kennzahl} \quad (13)$$

$$f_s = 50.798$$

Ein Rechenwert von  $f_n=2$  wird lt. Böge Seite 1389 bei ungünstigsten Bedingungen wie Schlägen und Stößen verwendet, also ist bei der Lagerung der Kegelradwelle eine mehr als ausreichende Sicherheit vorhanden.

### Dynamisch äquivalente Lagerbelastung

Zum bestimmen der Faktoren  $X_1$  und  $Y_1$  muss nach Tafel XIII.2/Seite1388 wie folgt vorgegangen werden

$$\frac{F_{y1}}{C_0} = 0.012$$

$$\frac{F_{y1}}{F_{z1}} = 0.591 \quad \frac{F_{y1}}{F_{z1}} > e_1$$

daraus leitet sich  $X_1$  und  $Y_1$  lt. Böge Seite 1388 Tafel XIII.2 wie folgt ab:

$$X_1 := 0.56 \quad Y_1 := 2$$

$$P_1 := X_1 \cdot F_{z1} + Y_1 \cdot F_{y1} \quad P_1 = 1.217 \times 10^3 \text{ N} \quad (14)$$

$f_n := 0.188$  lt. Böge Tafel XIII.7 gilt für eine Drehzahl  $5000 \text{ min}^{-1}$ :

$f_t := 1$  lt. Böge Tafel XIII.1 für Temperaturen unter  $100^\circ\text{C}$

$$f_L := \frac{C_{\text{dyn}}}{P_1} \cdot f_n \cdot f_t \quad f_L = 6.178 \quad (15)$$

Das ergibt lt. Böge Seite 1398 Tafel XIII.7 eine Lebensdauer von mehr als 100000 Betriebsstunden. Diese ist für den vorliegenden Anwendungsfall mehr als ausreichend. Diese Lageranordnung ist bezogen auf die Lebensdauer etwas günstiger, als die bisher verwendete Lagerung.

## 4.2 Keilwellenverbindung

### 4.2.1 Zulässige Flächenpressung $p_{zul}$

$$R_e := 590 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Streckgrenze}$$

$$\nu_{sk} := 2.5 \quad \text{Sicherheitsfaktor}$$

lt. Böge 1999 Seite 1376

$$T_1 := 100 N \cdot m \quad \text{Nennmoment an der Hauptspindel lt. Datenblatt}$$

$$p_{kzul} := \frac{R_e}{\nu_{sk}} \quad p_{kzul} = 236 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad (17)$$

### 4.2.2 Flächenpressung $p_k$

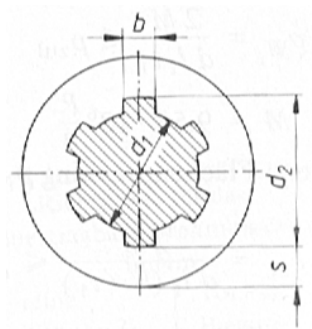


Abbildung 9: Größenverhältnisse an der Keilwelle

$$d_1 := 42 \text{ mm} \quad \text{Innendurchmesser}$$

$$d_a := 48 \text{ mm} \quad \text{Außendurchmesser}$$

$$d_m := \frac{d_1 + d_a}{2} \quad d_m = 45 \cdot \text{mm} \quad \text{gemittelter Durchmesser}$$

$$z_k := 8 \quad \text{Zähnezahl Keilnabe}$$

$$h_1 := 0.8 \cdot \frac{d_a - d_1}{2} \quad h_1 = 2.4 \cdot \text{mm} \quad \begin{array}{l} 75\% \text{ Faktor der Mitnehmerfläche} \\ \text{lt. Böge 1999 Seite 1376} \end{array}$$

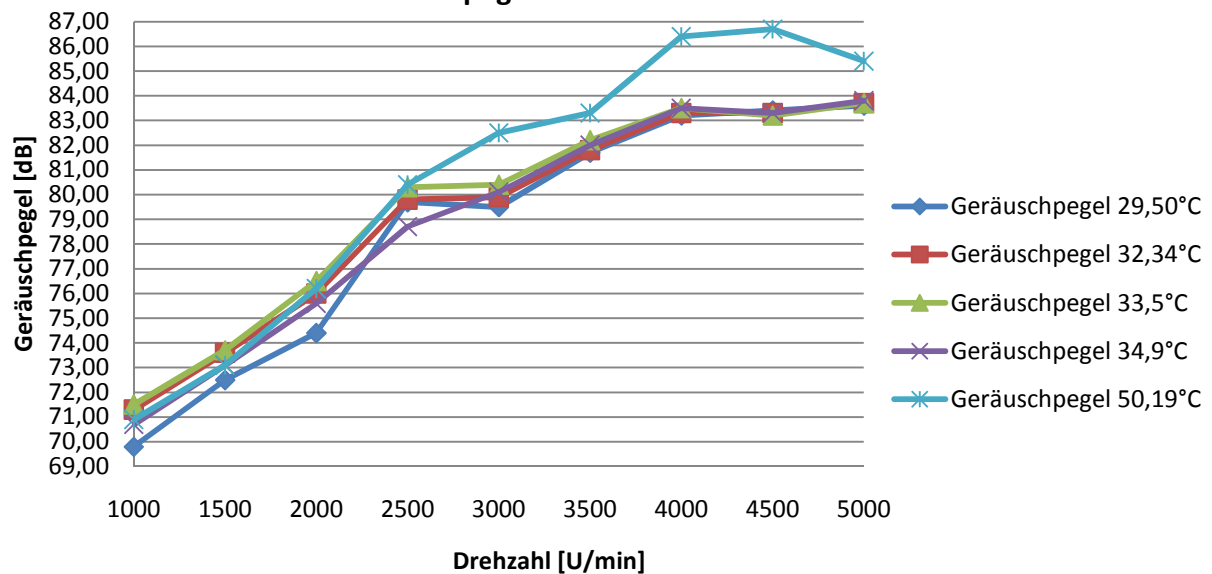
$$l_k := 18 \text{ mm} \quad \text{Länge Keilnarbe}$$

$$p_k := 2 \cdot \frac{T_1}{0.75 \cdot z_k \cdot h_1 \cdot l_k \cdot d_m} \quad p_k = 17.147 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad (18)$$

Die vorhandene Flächenpressung  $p_k$  an der Welle ist deutlich unter der maximal zulässigen Flächenpressung  $p_{zul}$ .

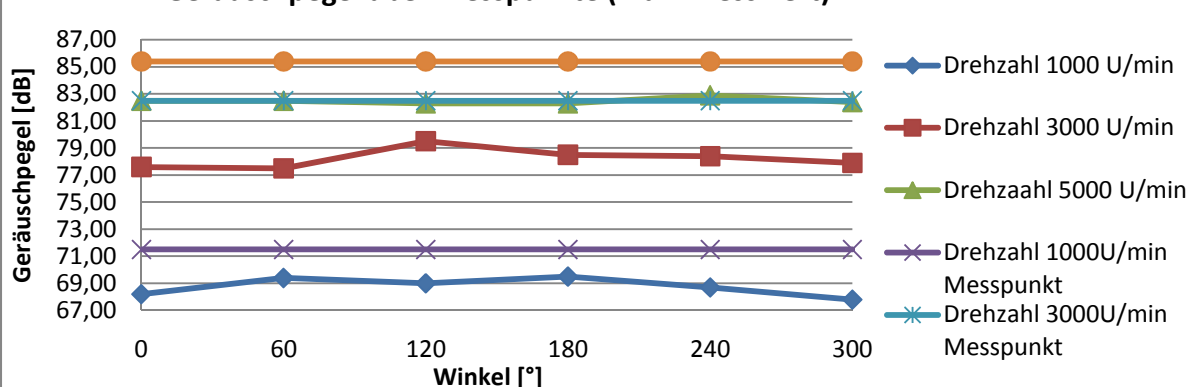
|                    |                 |       |       |       |                                |       |       |       |       |
|--------------------|-----------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Modell:            | FB600 Easycycle |       |       |       | Umgebungstemperatur: 29,32°C   |       |       |       |       |
| FANr:              | F8AY0491        |       |       |       | Umgebungsgeräuschpegel: 53,7dB |       |       |       |       |
| Rechtslauf         |                 |       |       |       |                                |       |       |       |       |
| Temperatur<br>[°C] | 1000            | 1500  | 2000  | 2500  | 3000                           | 3500  | 4000  | 4500  | 5000  |
| 29,50              | 69,80           | 72,50 | 74,40 | 79,70 | 79,50                          | 81,70 | 83,20 | 83,40 | 83,60 |
| 32,34              | 71,30           | 73,60 | 76,00 | 79,80 | 79,90                          | 81,80 | 83,30 | 83,30 | 83,70 |
| 33,50              | 71,50           | 73,70 | 76,50 | 80,30 | 80,40                          | 82,20 | 83,50 | 83,20 | 83,70 |
| 34,90              | 70,70           | 73,10 | 75,60 | 78,70 | 80,10                          | 82,00 | 83,50 | 83,30 | 83,80 |
| 50,19              | 70,90           | 73,10 | 76,20 | 80,40 | 82,50                          | 83,30 | 86,40 | 86,70 | 85,40 |

Geräuschpegel über Drehzahl - Rechtslauf



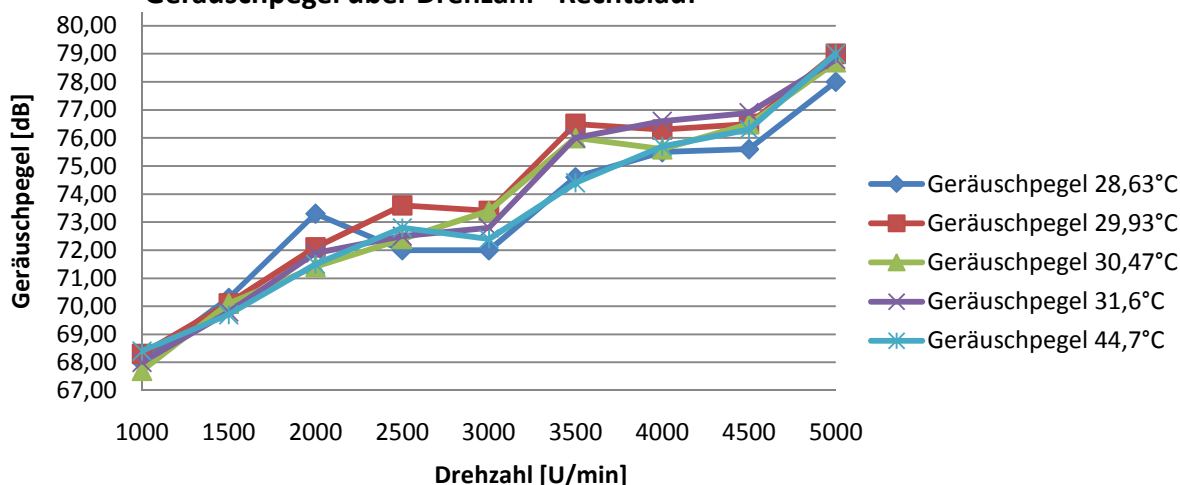
| Rechtslauf          |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Drehzahl<br>[U/min] | 0     | 60    | 120   | 180   | 240   | 300   |
| 1000                | 68,20 | 69,40 | 69,00 | 69,50 | 68,70 | 67,80 |
| 3000                | 77,60 | 77,50 | 79,50 | 78,50 | 78,40 | 77,90 |
| 5000                | 82,50 | 82,50 | 82,30 | 82,30 | 82,90 | 82,40 |
| Höchstwerte         |       |       |       |       |       |       |
| 1000                | 71,50 | 71,50 | 71,50 | 71,50 | 71,50 | 71,50 |
| 3000                | 82,50 | 82,50 | 82,50 | 82,50 | 82,50 | 82,50 |
| 5000                | 85,40 | 85,40 | 85,40 | 85,40 | 85,40 | 85,40 |

Geräuschpegel über Messpunkte (max. Messwert)

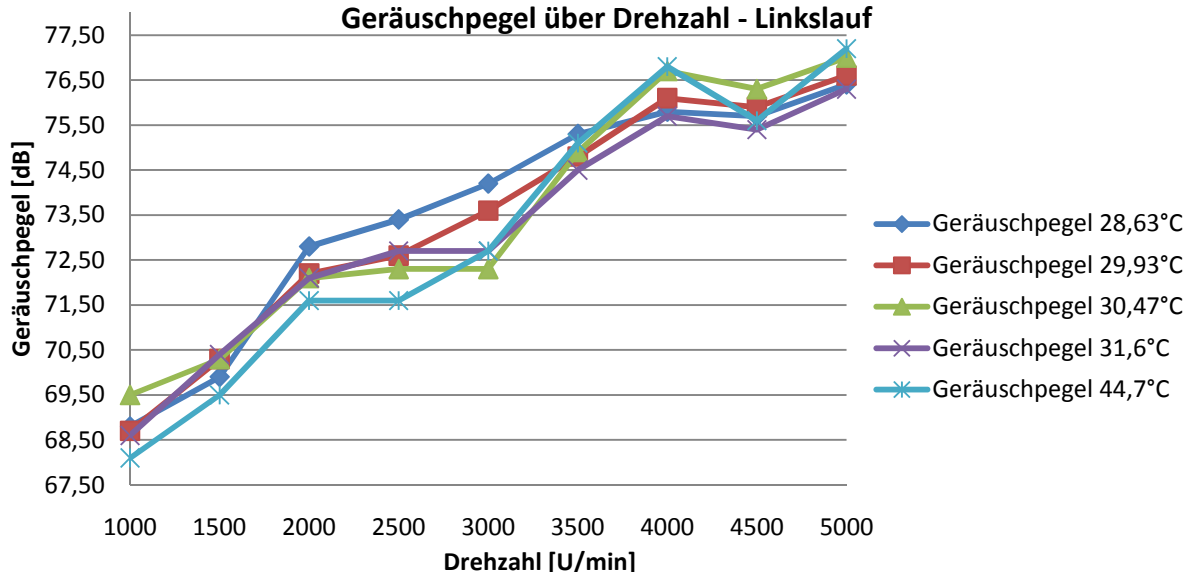


|                    |            |       |       |       |                                 |       |       |       |       |
|--------------------|------------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Modell:            | FB450_Digi |       |       |       | Umgebungstemperatur: 28,6°C     |       |       |       |       |
| FANr:              | 4073261    |       |       |       | Umgebungsgeräuschpegel: 66,9 dB |       |       |       |       |
| Rechtslauf         |            |       |       |       |                                 |       |       |       |       |
| Temperatur<br>[°C] | 1000       | 1500  | 2000  | 2500  | 3000                            | 3500  | 4000  | 4500  | 5000  |
| 28,63              | 68,00      | 70,30 | 73,30 | 72,00 | 72,00                           | 74,60 | 75,50 | 75,60 | 78,00 |
| 29,93              | 68,30      | 70,10 | 72,10 | 73,60 | 73,40                           | 76,50 | 76,30 | 76,50 | 79,00 |
| 30,47              | 67,70      | 70,10 | 71,40 | 72,40 | 73,40                           | 76,00 | 75,60 | 76,50 | 78,70 |
| 31,60              | 68,00      | 69,80 | 71,90 | 72,50 | 72,80                           | 76,00 | 76,60 | 76,90 | 78,80 |
| 44,70              | 68,40      | 69,70 | 71,50 | 72,80 | 72,40                           | 74,40 | 75,70 | 76,30 | 79,00 |
| Linkslauf          |            |       |       |       |                                 |       |       |       |       |
| Temperatur<br>[°C] | 1000       | 1500  | 2000  | 2500  | 3000                            | 3500  | 4000  | 4500  | 5000  |
| 28,63              | 68,80      | 69,90 | 72,80 | 73,40 | 74,20                           | 75,30 | 75,80 | 75,70 | 76,40 |
| 29,93              | 68,70      | 70,30 | 72,20 | 72,60 | 73,60                           | 74,80 | 76,10 | 75,90 | 76,60 |
| 30,47              | 69,50      | 70,30 | 72,10 | 72,30 | 72,30                           | 74,90 | 76,70 | 76,30 | 77,00 |
| 31,60              | 68,60      | 70,40 | 72,10 | 72,70 | 72,70                           | 74,50 | 75,70 | 75,40 | 76,30 |
| 44,70              | 68,10      | 69,50 | 71,60 | 71,60 | 72,70                           | 75,10 | 76,80 | 75,60 | 77,20 |

Geräuschpegel über Drehzahl - Rechtslauf



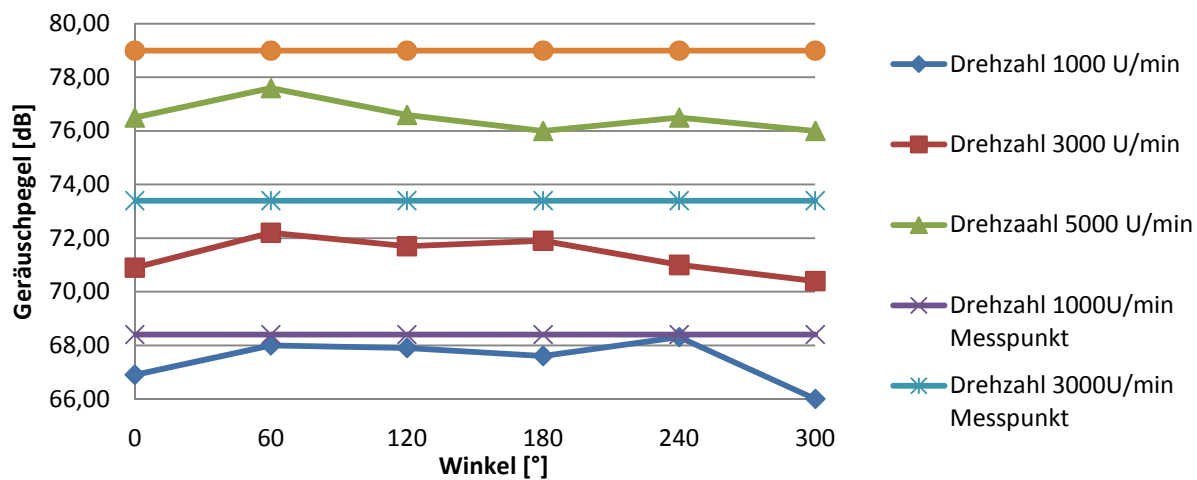
Geräuschpegel über Drehzahl - Linkslauf



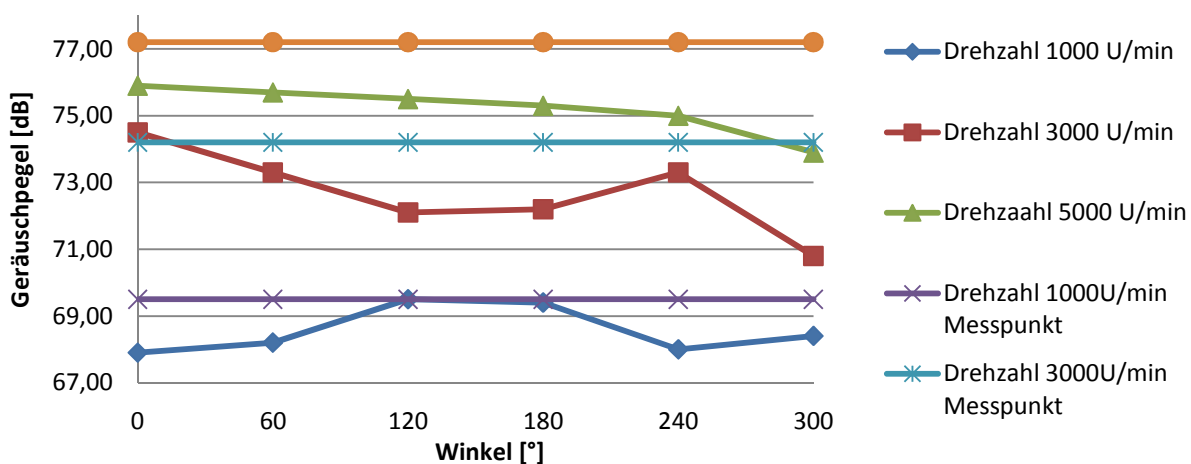


|                     |            |       |       |                                 |       |       |
|---------------------|------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| Modell:             | FB450_Digi |       |       | Umgebungstemperatur: 28,6°C     |       |       |
| FANr:               | 4073261    |       |       | Umgebungsgeräuschpegel: 66,9 dB |       |       |
| Rechtslauf          |            |       |       |                                 |       |       |
| Drehzahl<br>[U/min] | 0          | 60    | 120   | 180                             | 240   | 300   |
| 1000                | 66,90      | 68,00 | 67,90 | 67,60                           | 68,30 | 66,00 |
| 3000                | 70,90      | 72,20 | 71,70 | 71,90                           | 71,00 | 70,40 |
| 5000                | 76,50      | 77,60 | 76,60 | 76,00                           | 76,50 | 76,00 |
| Höchstwerte         |            |       |       |                                 |       |       |
| 1000                | 68,40      | 68,40 | 68,40 | 68,40                           | 68,40 | 68,40 |
| 3000                | 73,40      | 73,40 | 73,40 | 73,40                           | 73,40 | 73,40 |
| 5000                | 79,00      | 79,00 | 79,00 | 79,00                           | 79,00 | 79,00 |
| Linkslauf           |            |       |       |                                 |       |       |
| Drehzahl<br>[U/min] | 0          | 60    | 120   | 180                             | 240   | 300   |
| 1000                | 67,90      | 68,20 | 69,50 | 69,40                           | 68,00 | 68,40 |
| 3000                | 74,50      | 73,30 | 72,10 | 72,20                           | 73,30 | 70,80 |
| 5000                | 75,90      | 75,70 | 75,50 | 75,30                           | 75,00 | 73,90 |
| Höchstwerte         |            |       |       |                                 |       |       |
| 1000                | 69,50      | 69,50 | 69,50 | 69,50                           | 69,50 | 69,50 |
| 3000                | 74,20      | 74,20 | 74,20 | 74,20                           | 74,20 | 74,20 |
| 5000                | 77,20      | 77,20 | 77,20 | 77,20                           | 77,20 | 77,20 |

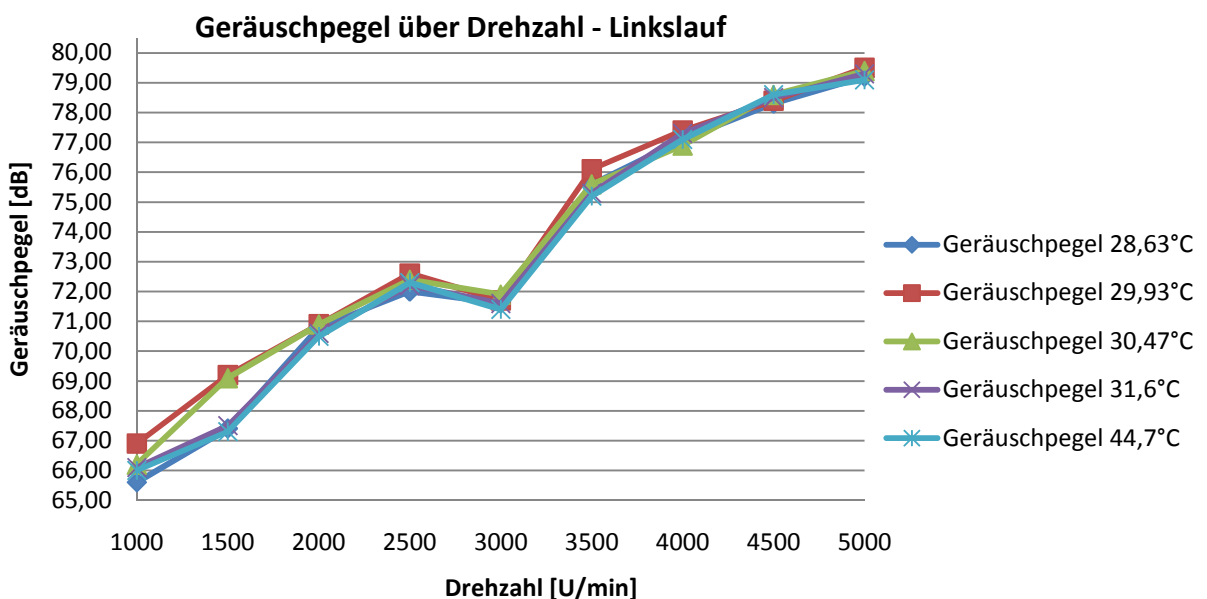
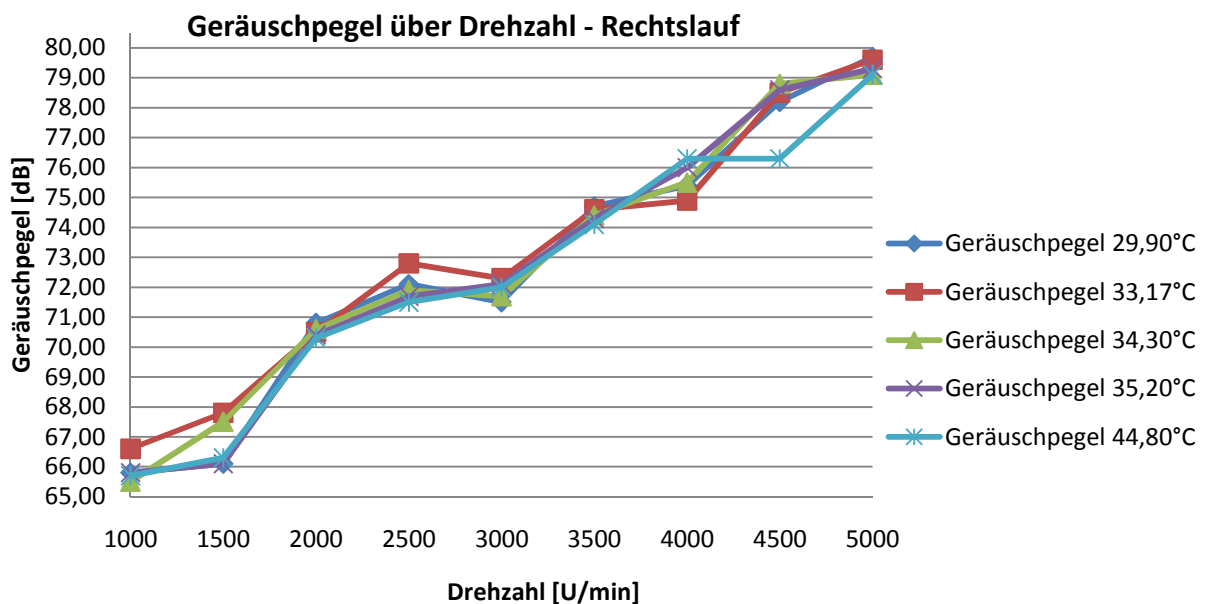
Geräuschpegel über Messpunkte (max. Messwert) - Rechtslauf



Geräuschpegel über Messpunkte (max. Messwert) - Linkslauf

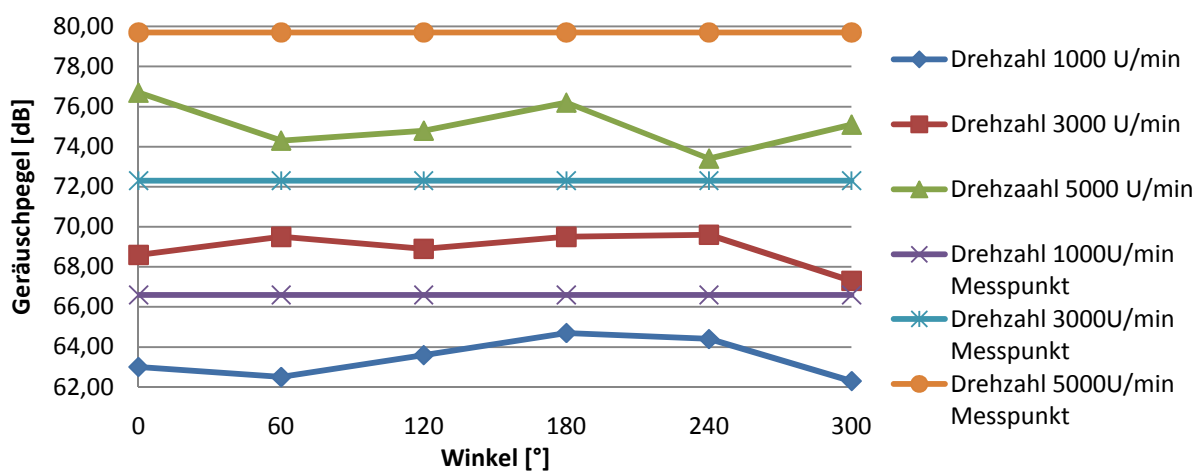


|                    |                 |       |       |       |                                |       |       |       |       |
|--------------------|-----------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Modell:            | FB450_Easycycle |       |       |       | Umgebungstemperatur: 27,3°C    |       |       |       |       |
| FANr:              | F9AY2891        |       |       |       | Umgebungsgeräuschpegel: 42,5dB |       |       |       |       |
| Rechtslauf         |                 |       |       |       |                                |       |       |       |       |
| Temperatur<br>[°C] | 1000            | 1500  | 2000  | 2500  | 3000                           | 3500  | 4000  | 4500  | 5000  |
| 29,90              | 65,80           | 66,10 | 70,80 | 72,10 | 71,50                          | 74,70 | 75,40 | 78,20 | 79,70 |
| 33,17              | 66,60           | 67,80 | 70,50 | 72,80 | 72,30                          | 74,60 | 74,90 | 78,50 | 79,60 |
| 34,30              | 65,50           | 67,50 | 70,60 | 71,90 | 71,70                          | 74,40 | 75,50 | 78,80 | 79,10 |
| 35,20              | 65,80           | 66,10 | 70,40 | 71,70 | 72,10                          | 74,30 | 76,00 | 78,60 | 79,30 |
| 44,80              | 65,70           | 66,30 | 70,30 | 71,50 | 72,00                          | 74,10 | 76,30 | 76,30 | 79,10 |
| Linkslauf:         |                 |       |       |       |                                |       |       |       |       |
| Temperatur<br>[°C] | 1000            | 1500  | 2000  | 2500  | 3000                           | 3500  | 4000  | 4500  | 5000  |
| 29,90              | 65,60           | 67,40 | 70,80 | 72,00 | 71,60                          | 75,60 | 77,10 | 78,30 | 79,20 |
| 33,17              | 66,90           | 69,20 | 70,90 | 72,60 | 71,70                          | 76,10 | 77,40 | 78,40 | 79,50 |
| 34,30              | 66,20           | 69,10 | 70,90 | 72,40 | 71,90                          | 75,60 | 76,90 | 78,60 | 79,40 |
| 35,20              | 66,10           | 67,50 | 70,60 | 72,20 | 71,60                          | 75,30 | 77,30 | 78,50 | 79,30 |
| 44,80              | 66,00           | 67,30 | 70,50 | 72,30 | 71,40                          | 75,20 | 77,10 | 78,60 | 79,10 |

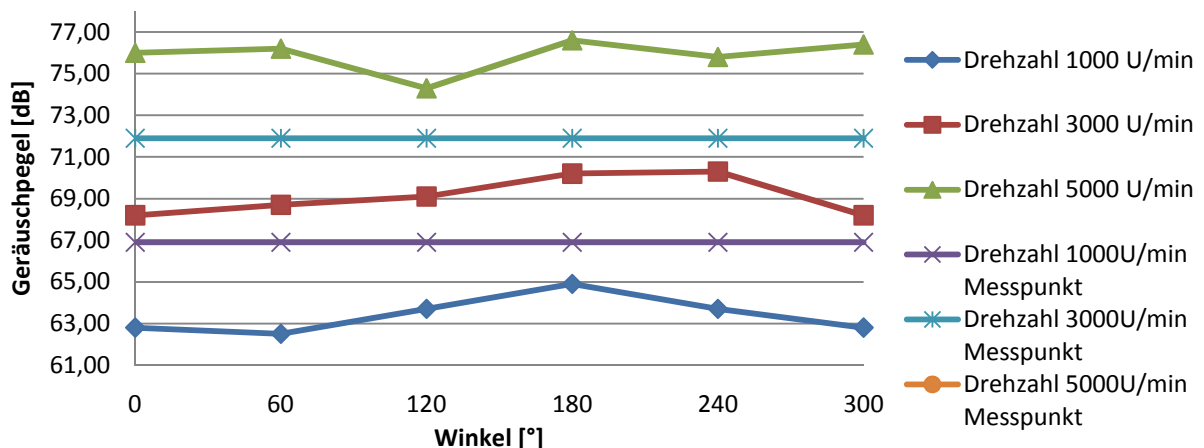


|                     |                 |       |       |                                |       |       |
|---------------------|-----------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| Modell:             | FB450_Easycycle |       |       | Umgebungstemperatur: 27,3°C    |       |       |
| FANr:               | F9AY289:        |       |       | Umgebungsgeräuschpegel: 42,5dB |       |       |
| Rechtslauf          |                 |       |       |                                |       |       |
| Drehzahl<br>[U/min] | 0               | 60    | 120   | 180                            | 240   | 300   |
| 1000                | 63,00           | 62,50 | 63,60 | 64,70                          | 64,40 | 62,30 |
| 3000                | 68,60           | 69,50 | 68,90 | 69,50                          | 69,60 | 67,30 |
| 5000                | 76,70           | 74,30 | 74,80 | 76,20                          | 73,40 | 75,10 |
| Höchstwerte         |                 |       |       |                                |       |       |
| 1000                | 66,60           | 66,60 | 66,60 | 66,60                          | 66,60 | 66,60 |
| 3000                | 72,30           | 72,30 | 72,30 | 72,30                          | 72,30 | 72,30 |
| 5000                | 79,70           | 79,70 | 79,70 | 79,70                          | 79,70 | 79,70 |
| Linkslauf           |                 |       |       |                                |       |       |
| Drehzahl<br>[U/min] | 0               | 60    | 120   | 180                            | 240   | 300   |
| 1000                | 62,80           | 62,50 | 63,70 | 64,90                          | 63,70 | 62,80 |
| 3000                | 68,20           | 68,70 | 69,10 | 70,20                          | 70,30 | 68,20 |
| 5000                | 76,00           | 76,20 | 74,30 | 76,60                          | 75,80 | 76,40 |
| Höchstwerte         |                 |       |       |                                |       |       |
| 1000                | 66,90           | 66,90 | 66,90 | 66,90                          | 66,90 | 66,90 |
| 3000                | 71,90           | 71,90 | 71,90 | 71,90                          | 71,90 | 71,90 |
| 5000                | 79,50           | 79,50 | 79,50 | 79,50                          | 79,50 | 79,50 |

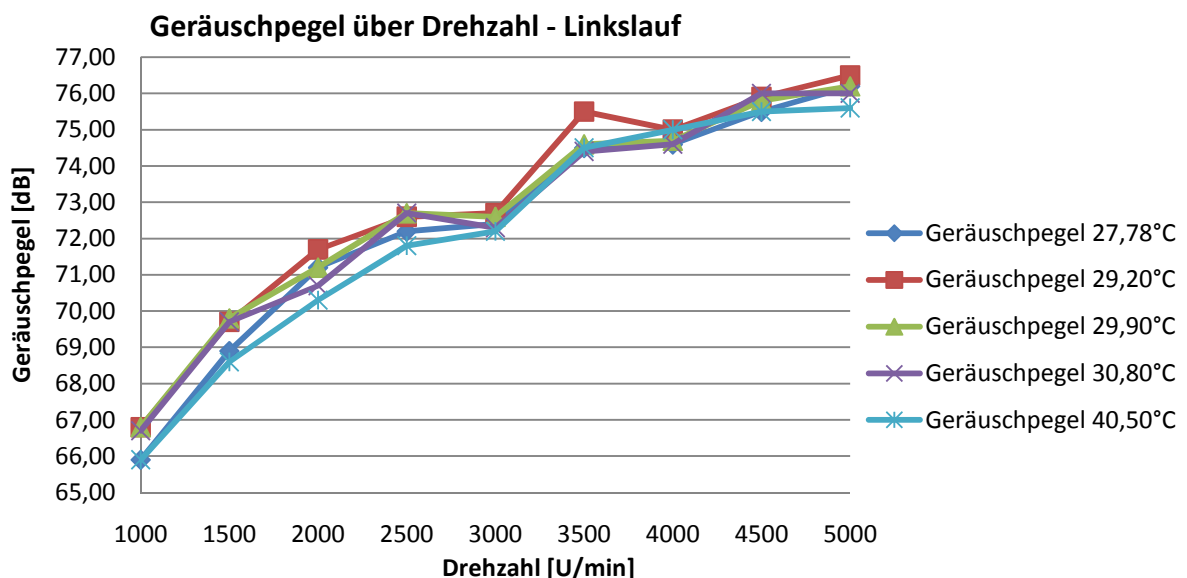
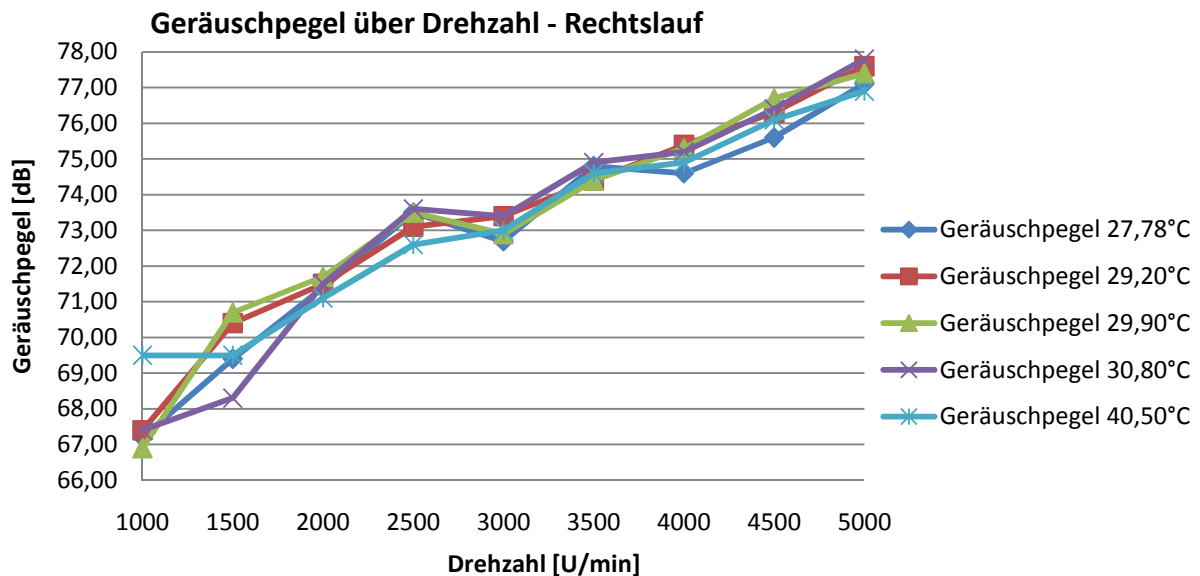
Geräuschpegel über Messpunkte (max. Messwert) - Rechtslauf



Geräuschpegel über Messpunkte (max. Messwert) - Linkslauf

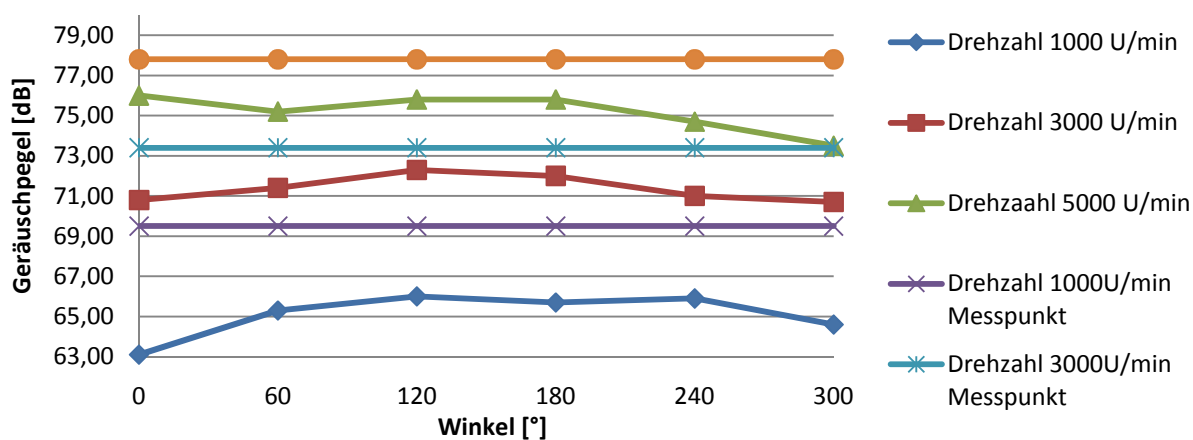


|                    |            |       |       |       |                                 |       |       |       |       |
|--------------------|------------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Modell:            | FB450_Digi |       |       |       | Umgebungstemperatur: 28,6°C     |       |       |       |       |
| FANr:              | F9AY2591   |       |       |       | Umgebungsgeräuschpegel: 66,9 dB |       |       |       |       |
| Rechtslauf         |            |       |       |       |                                 |       |       |       |       |
| Temperatur<br>[°C] | 1000       | 1500  | 2000  | 2500  | 3000                            | 3500  | 4000  | 4500  | 5000  |
| 27,78              | 67,20      | 69,40 | 71,40 | 73,50 | 72,70                           | 74,80 | 74,60 | 75,60 | 77,10 |
| 29,20              | 67,40      | 70,40 | 71,50 | 73,10 | 73,40                           | 74,40 | 75,40 | 76,30 | 77,60 |
| 29,90              | 66,90      | 70,70 | 71,70 | 73,50 | 72,90                           | 74,40 | 75,30 | 76,70 | 77,40 |
| 30,80              | 67,40      | 68,30 | 71,50 | 73,60 | 73,40                           | 74,90 | 75,20 | 76,40 | 77,80 |
| 40,50              | 69,50      | 69,50 | 71,10 | 72,60 | 73,00                           | 74,60 | 74,90 | 76,10 | 76,90 |
| Linkslauf          |            |       |       |       |                                 |       |       |       |       |
| Temperatur<br>[°C] | 1000       | 1500  | 2000  | 2500  | 3000                            | 3500  | 4000  | 4500  | 5000  |
| 27,78              | 65,90      | 68,90 | 71,20 | 72,20 | 72,40                           | 74,50 | 74,60 | 75,50 | 76,20 |
| 29,20              | 66,80      | 69,70 | 71,70 | 72,60 | 72,70                           | 75,50 | 75,00 | 75,90 | 76,50 |
| 29,90              | 66,80      | 69,80 | 71,20 | 72,70 | 72,60                           | 74,60 | 74,70 | 75,80 | 76,20 |
| 30,80              | 66,70      | 69,70 | 70,70 | 72,70 | 72,30                           | 74,40 | 74,60 | 76,00 | 76,00 |
| 40,50              | 65,90      | 68,60 | 70,30 | 71,80 | 72,20                           | 74,50 | 75,00 | 75,50 | 75,60 |

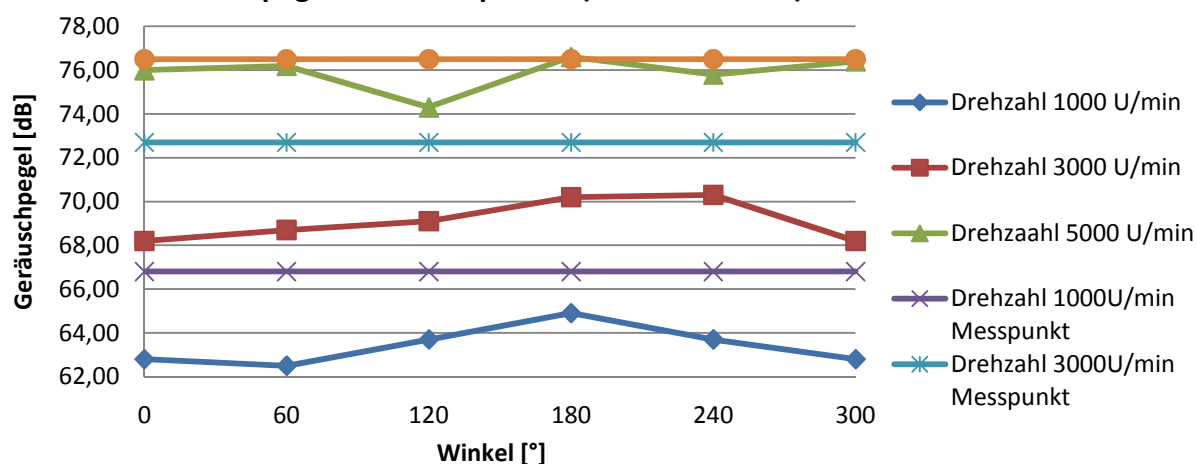


|                     |          |       |       |                                 |       |       |
|---------------------|----------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| Modell:             | 450_Digi |       |       | Umgebungstemperatur: 28,6°C     |       |       |
| FANr:               | 4073261  |       |       | Umgebungsgeräuschpegel: 66,9 dB |       |       |
| Rechtslauf          |          |       |       |                                 |       |       |
| Drehzahl<br>[U/min] | 0        | 60    | 120   | 180                             | 240   | 300   |
| 1000                | 63,10    | 65,30 | 66,00 | 65,70                           | 65,90 | 64,60 |
| 3000                | 70,80    | 71,40 | 72,30 | 72,00                           | 71,00 | 70,70 |
| 5000                | 76,00    | 75,20 | 75,80 | 75,80                           | 74,70 | 73,50 |
| Höchstwerte         |          |       |       |                                 |       |       |
| 1000                | 69,50    | 69,50 | 69,50 | 69,50                           | 69,50 | 69,50 |
| 3000                | 73,40    | 73,40 | 73,40 | 73,40                           | 73,40 | 73,40 |
| 5000                | 77,80    | 77,80 | 77,80 | 77,80                           | 77,80 | 77,80 |
| Linkslauf           |          |       |       |                                 |       |       |
| Drehzahl<br>[U/min] | 0        | 60    | 120   | 180                             | 240   | 300   |
| 1000                | 62,80    | 62,50 | 63,70 | 64,90                           | 63,70 | 62,80 |
| 3000                | 68,20    | 68,70 | 69,10 | 70,20                           | 70,30 | 68,20 |
| 5000                | 76,00    | 76,20 | 74,30 | 76,60                           | 75,80 | 76,40 |
| Höchstwerte         |          |       |       |                                 |       |       |
| 1000                | 66,80    | 66,80 | 66,80 | 66,80                           | 66,80 | 66,80 |
| 3000                | 72,70    | 72,70 | 72,70 | 72,70                           | 72,70 | 72,70 |
| 5000                | 76,50    | 76,50 | 76,50 | 76,50                           | 76,50 | 76,50 |

Geräuschpegel über Messpunkte (max. Messwert) - Rechtslauf



Geräuschpegel über Messpunkte (max. Messwert) - Linkslauf



# Bericht

---



**Thema:** Geräusche am Fräskopf der C40 (FB-450L) und starke Temperaturentwicklung bei hohen Drehzahlen

**Teilnehmer:** O.Karnouschek  
24.09.2009 P.Siller; Herr Hicke

**Verfasser:** M.Hausmann

**Ort:** Magdeburg

**Datum:** 24.09.2009  
25.09.2009

---

## Zusammenfassung

Aufgrund mehrerer Versuche konnten folgendes festgestellt werden:

1. Die X-Anordnung der Lager am Antriebskegelrad verhindert ein Heißlaufen der Lager
2. Zu geringes Zahnflankenspiel führt zu hoher Geräuschentwicklung (Reibgeräusch)
3. Die Antriebskupplung Metall auf Metall ist laut → Dämpfung erforderlich
4. Die Frässpindel und Pinole trägt keinen wesentlichen Anteil zur Geräuscherhöhung bei
5. Das Antriebskegelrad alleine läuft in der Kupplung zur Horizontalspindel leise
6. Die Kegelräder weisen ungewöhnliche Oberflächen und Berührstellen auf

## Montagemaßnahmen am Fräskopf von Magdeburg vor Beginn der Versuche:

- Gehäuse – Abtriebsbohrung zu Anlagefläche Antrieb in der Messmaschine vermessen
- Antriebseinheit (Zahnrad, Lager, Hülse) wurde zusammen vermessen (Einstellmaß)
- Lagerhülse des Antriebs (alt – zwei Teile zusammen Montiert) wurde an beiden Anlageflächen zueinander parallel geschliffen und vermessen
- Mit Hilfe der gemessenen Werte konnte die Kegelradeinstellung optimiert werden → deutliche Verbesserung.
- Zentrierflansch (Mezideska) wurde plan und innenrund geschliffen → exakte Zentrierung zur Horizontalspindel
- Thema – Klemmen der Pinole  
Keilwelle wurde nach außen hin nachgearbeitet, da diese am Spindelende im Keilfuß leicht konisch war.  
Frage: Warum muss die Keilwelle im Kegelrad zentrieren, wenn diese nur mitnehmen muss, also nur die Flanken genau sein müssten?

## Hinweis:

Die Messungen erfolgen alle rechts neben der Maschine (Prototyp FB-600L Digital) höhe des Bedienpults und ca. 200mm – 400mm entfernt von der Maschinenverkleidung statt gefunden. Die Umgebungsgeräusche in der Halle lagen ca. bei 60dB

## Versuche:

| 1. Ausganglage: O-Anordnung der Antriebswelle ohne Zentrierzapfen rund |      |            |      |
|--|------|------------|------|
| 2500 U/min   |      | 5000 U/min |      |
| 75dB   | 36°C | 85 dB      | 54°C |
| Rundlauf der Welle zum Flansch: 0,02mm                                 |      |            |      |

| 2. X-Anordnung der Antriebswelle mit Zentrierzapfen rund |      |            |      |
|--|------|------------|------|
| 2500 U/min   |      | 5000 U/min |      |
| 79dB   | 28°C | 86dB       | 32°C |
| Rundlauf der Welle zum Flansch: 0,04mm am Antrieb        |      |            |      |

In Folge alle weiteren Versuche mit X-Anordnung der Antriebswelle

| 3. Abstimmung am Abtrieb um 0,05mm erhöht mit Zentrierzapfen rund |      |            |      |
|---|------|------------|------|
| 2500 U/min  |      | 5000 U/min |      |
| 74dB  | 28°C | 81dB       | 32°C |

→Temperatur ist in Folge nicht steigend und wird nicht extra dokumentiert

→Abstimmung bleibt um 0,05mm erhöht für weitere Versuche

| 4. Zentrierzapfen rund entfernt             |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| 2500 U/min                                  |  | 5000 U/min |  |
| 84dB  |  | 84dB       |  |
| 0,08 mm Rundlauf Welle – Flansch am Antrieb |  |            |  |

| 5. Ohne Zentrierzapfen, Fräskopf im Verdrehflansch um 0,04mm angehoben (Ausgleich des Rundlauffehlers) |  |            |      |
|--|--|------------|------|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |      |
| 80dB   |  | 84dB       | 30°C |

| 6. Zentrierzapfen mit Passfeder  |  |            |  |
|----------------------------------|--|------------|--|
| 2500 U/min                       |  | 5000 U/min |  |
| 77dB                             |  | 80dB       |  |
| Planlauf Welle – Flansch: 0,04mm |  |            |  |
| Rundlauf Welle – Flansch: 0,02mm |  |            |  |
| Tonaufnahme Handy clip0001.amr   |  |            |  |

| 7. Zentrierzapfen mit Passfeder; Verdrehflansch gelöst – absenken um 0,02mm |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| 2500 U/min  |  | 5000 U/min |  |
| 76dB  |  | 81dB       |  |

- Sobald zu dem brummenden Geräusch ein klapperndes und schlagendes Geräusch (Metall auf Metall) hinzukommt steigen die dB Werte deutlich.
- Kegelradspiel in radialer Richtung  
 $dx = 0,01$  ohne 0,05mm Abstimmungvergrößerung  
 $dx = 0,06$  mit 0,05mm Abstimmungvergrößerung

| 8. Zentrierzapfen mit Passfeder, Planlauf Welle – Flansch <0,01mm  |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
| 77dB   |  | 84dB       |  |
| Rundlauf Welle – Flansch 0,025mm<br>Planlauf Welle – Flansch eingestellt durch Verspannen der Lagerhülse im Antrieb mit den Abdrückschrauben |  |            |  |

| 9. Zentrierzapfen mit Passfeder; Abstimmring im Antrieb um 0,05mm erhöht |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
| 76dB   |  | 82dB       |  |
| Klappernde, schlagendes Geräusch   |  |            |  |

| 10. Vertikale Kegelradeinheit entfernt |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min                             |  | 5000 U/min |  |
|  |  | 76dB       |  |

| 11. Nur Horizontalspindel mit Zentrierzapfen mit Passfedern |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| 2500 U/min  |  | 5000 U/min |  |
|   |  | 66dB       |  |

Kegelräder sind im Zahngrund im Innendurchmesser gelaufen

| 12. Abstimmring um 0,1mm erhöht im vertikalem Kegelrad |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
|  |  | 84dB       |  |

| 13. Abstimmring um weitere 0,05mm erhöht (im vertikalen Kegelrad) und Zentrierkegel glatt |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| 2500 U/min  |  | 5000 U/min |  |
| 75dB  |  | 82dB       |  |

- Absoluter Erhöhung der Abstimmmaße vom theoretischen 0-Punkte:  
Vertikal: 0,2mm  
Horizontal: 0,15mm

| 14. Lauf ohne vertikalem Kegelrad und glattem Zentrierbolzen  |  |            |      |
|---|--|------------|------|
| 2500 U/min  |  | 5000 U/min |      |
|   |  | 77dB       | 70dB |
| Vor und nach dem Spannen des Zentrierbolzen im eingebauten Zustand mit der hydraulischen Werkzeugspannung |  |            |      |

| 15. Lauf ohne vertikalem Kegelrad, glattem Zentrierbolzen und Isolierband auf den Nutensteinen der Horizontalspindel |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
|  |  | 68 dB      |  |
| Kein metallisches klapperndes, schlagendes Geräusch zu hören   |  |            |  |



| 16. Mit vertikalem Kegelrad, glattem Zentrierbolzen und Isolierband auf den Nutensteinen |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
| 72dB   |  | 82dB       |  |

| 17. Vertikaler Abstimmring um 0,1mm verringert, glattem Zentrierbolzen und Isolierband auf den Nutensteinen |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| 2500 U/min  |  | 5000 U/min |  |
| 75dB  |  | 81dB       |  |

| 18. Vertikales Kegelrad – 0,3mm Fase auf Zahnradköpfe geschliffen |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| 2500 U/min  |  | 5000 U/min |  |
| 75dB  |  | 81dB       |  |

| 19. Horizontales Kegelrad – 0,3mm Fase auf Zahnradköpfe geschliffen |  |            |                   |
|---|--|------------|-------------------|
| 2500 U/min  |  | 5000 U/min |                   |
| 73dB  |  | 79dB       | Steigend auf 81dB |

| 20. Neuer Kopf mit jeweils 0,05mm zu Null abstimmmaß |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
|  |  | 80dB       |  |

| 21. Entfernen der Spindel samt Pinole |  |            |  |
|---------------------------------------|--|------------|--|
| 2500 U/min                            |  | 5000 U/min |  |
|                                       |  | 80dB       |  |

Spindel hat anscheinend keinen Einfluss auf das Geräusch

→ Derzeit sind allein die Kegelräder für das Geräusch verantwortlich

| 22. Alter Kopf mit 0,05mm Abstimmmaß und Zentrierzapfen mit Kunststoffpassfedern |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
|  |  | 80 dB      |  |

| 23. Vertikales Kegelrad entfernt   |  |            |  |
|--|--|------------|--|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min |  |
|  |  | 67dB       |  |
| → Zentrierzapfen mit Kunststoffpassfedern erzeugt kein zusätzliches Laufgeräusch |  |            |  |

| 24. Neuer Kopf mit O-Anordnung |  |            |                   |
|--------------------------------|--|------------|-------------------|
| 2500 U/min                     |  | 5000 U/min | Temperatur steigt |
|                                |  | >85dB      | rasch → Abbruch   |

| 25. Neuer Kopf mit O-Anordnung und 0,05mm höheren Abstimmring am vertikalem Kegelrad |  |            |                   |
|--|--|------------|-------------------|
| 2500 U/min   |  | 5000 U/min | Temperatur steigt |
|  |  | 84dB       | rasch → Abbruch   |